



XARXES OPORTUNÍSTIQUES. SIMULACIÓ D'ESCENARIS AERONÀUTICS

Memòria del projecte de final de carrera corresponent
als estudis d'Enginyeria Superior en Informàtica pre-
sentat per Adrià Berbel Alonso i dirigit per Joan Bor-
rell Viader.

Bellaterra, Juny de 2013

El firmant, Joan Borrell Viader , professor del Departament d'Enginyeria de la Informació i de les Comunicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona

CERTIFICA:

Que la present memòria ha sigut realitzada sota la seva direcció per Adrià Berbel Alonso

Bellaterra, Juny de 2013

Firmat: Joan Borrell Viader

A tots aquells que m'han donat ànims quan em calia.

Agraïments

Als meus tutors de projecte, Joan Borrell i Rubén Martínez pel seu suport, ajuda i paciència, així com al col·lectiu de projectistes i membres del dEIC que han col·laborat en les sessions i han mostrat interès per aquest projecte.

Vull agrair també a la meva família i amics, que, tot i no entendre les bases i motivacions del projecte, sempre van tenir una paraula d'ànims.

Agraeixo a tots vosaltres la vostra dedicació.

Índex

1	Introducció	1
1.1	Introducció	1
1.2	Objectius del projecte	1
1.3	Planificació del projecte	2
1.4	Viabilitat tècnica del projecte	4
1.5	Estructura de la memòria	4
2	Estat de l'art	6
2.1	Delay-Tolerant Networks	6
2.2	Descripció de l'arquitectura DTN	8
2.3	Pas virtual de missatges fent ús de store-and-forward	9
2.4	Nodes i extrems	10
2.5	Encaminament a les DTN	10
2.6	Cas d'estudi. Xarxes aeronàutiques	13
2.7	Resum	14
3	Eines i entorn	15
3.1	Simulador ns3	15
3.2	Abstraccions en la simulació	16
3.2.1	Node	16
3.2.2	Aplicació	17
3.2.3	Canal	17
3.2.4	Dispositiu de xarxa	17
3.2.5	Topology helpers	18
3.2.6	Registres d'activitat	18

3.3	Simulació base	19
3.3.1	Modelització de les rutes de vol	20
3.3.2	Contactes i pas de missatges	21
3.4	Altres eines emprades	22
3.5	Resum	24
4	Desenvolupament	25
4.1	Nous algorismes d'encaminament	25
4.1.1	Limitació de l'encaminament epidèmic	26
4.1.2	Ús de paràmetres de vol	27
4.2	Disseny de les simulacions	30
4.3	Resum	31
5	Resultats	32
5.1	Model incremental	32
5.1.1	Connectivitat de la xarxa	32
5.1.2	Nombre de paquets a la xarxa	34
5.1.3	Paquets perduts	36
5.2	Model complet	37
5.3	Conclusions	38
6	Conclusions	40
6.1	Objectius assolits	40
6.2	Planificació final	41
6.3	Problemes i inconvenients trobats	42
6.4	Valoració personal	43
	Bibliografia	45

Índex de figures

1.1	Planificació del projecte	3
2.1	Bundle Layer	7
2.2	Esquema bundle	8
2.3	Multi-graf DTN	11
3.1	Corredors sobre l'Atlàntic Nord	20
3.2	Rang WiFi	22
3.3	Descobriment de veïns	23
4.1	Limited epidemic	26
4.2	NeighbourDiscoveryMessage	27
4.3	Diagrama de flux rtime-distribution	29
5.1	Nombre de contactes	33
5.2	Finestra de connectivitat	33
5.3	Temps de connectivitat	34
5.4	Nombre de paquets a la xarxa	35
5.5	Packet loss	36
5.6	Time to deliver	37
6.1	Planificació final	44

Capítol 1

Introducció

1.1 Introducció

El projecte que presentem pretén realitzar un estudi dins l'àmbit de les xarxes oportunistes, també conegudes com a Delay-Tolerant Networks o DTN.

L'àmbit concret que abarcarà aquest projecte serà el de les DTN en l'àmbit aeronàutic, centrant l'estudi en una xarxa simulada sobre l'Atlàntic Nord.

Aquest tipus de xarxes presenten la problemàtica d'efectuar un encaminament eficient entre els seus nodes ja que, degut a la pròpia naturalesa de les DTN, els contactes són arbitraris i discernir a quin node lliurar els missatges pot ser determinant per al rendiment de la xarxa. Concretament, en l'entorn aeronàutic que es tracta en aquest projecte l'encaminament s'hauria d'aplicar entre els missatges que s'intercanviïn els diferents avions que conformen la xarxa.

Per tant, pretenem treballar sobre un seguit de simulacions sobre l'entorn indicat, on s'hi aplicaran els diferents algorismes dissenyats per tal d'analitzar l'impacte d'aquests sobre el pas de missatges entre els nodes de la DTN.

1.2 Objectius del projecte

Per tal de trobar resposta als dilemes plantejats al punt anterior, hem plantejat un seguit d'objectius que pretenen fonamentar la base teòrica i pràctica d'aquest projecte. Aquests objectius són els següents:

- Aprofundir en el coneixement i funcionament dels mecanismes lligats a les xarxes DTN, específicament els algorismes d'encaminament d'aquestes lligats al cas d'estudi concret.
- Conèixer i dominar l'ús del simulador de xarxes ns3, eina bàsica d'aquest projecte i que s'emprarà per tal de realitzar les simulacions requerides.
- Implementar els diferents algorismes per a ésser aplicats a la xarxa en forma d'aplicacions.
- Analitzar l'impacte de cadascun dels algorismes dissenyats.
- Extreure conclusions sobre els resultats obtinguts per tal de discernir l'algorisme que tindria l'impacte positiu més gran sobre la xarxa.

1.3 Planificació del projecte

Per tal d'assolir els punts indicats anteriorment, hem plantejat la divisió del projecte en tres grans blocs de treball amb les seves corresponents càrregues de treball.

Primerament, hem planejat una primera fase d'introducció al projecte, tant a nivell teòric per assolir els coneixements necessaris, com a un cert nivell pràctic, pel que fa a la realització del curs de redacció de projectes que ofereix el Departament d'Enginyeria de la Informació i els Comunicacions (dEIC).

A aquesta primera fase segueix el primer contacta amb l'entorn de programació i desenvolupament del projecte, on s'inclourà tant la instal·lació de les dependències necessàries com la comprovació del funcionament correcte de tot l'entorn de simulació així com el coneixement teòric per tal de fer un bon ús de les eines proporcionades.

Per últim, la darrera fase en la que s'ha plantejat el projecte ha estat la d'implementació de les aplicacions dissenyades i la seva posterior simulació per a l'obtenció de resultats i mètriques comparatives amb l'objectiu de completar l'estudi planejat. Aquest punt també inclou la redacció de tota la documentació a lliurar al tribunal que ha de valorar el projecte.

Aquesta planificació s'ha distribuït temporalment segons es mostra a la figura 1.1.

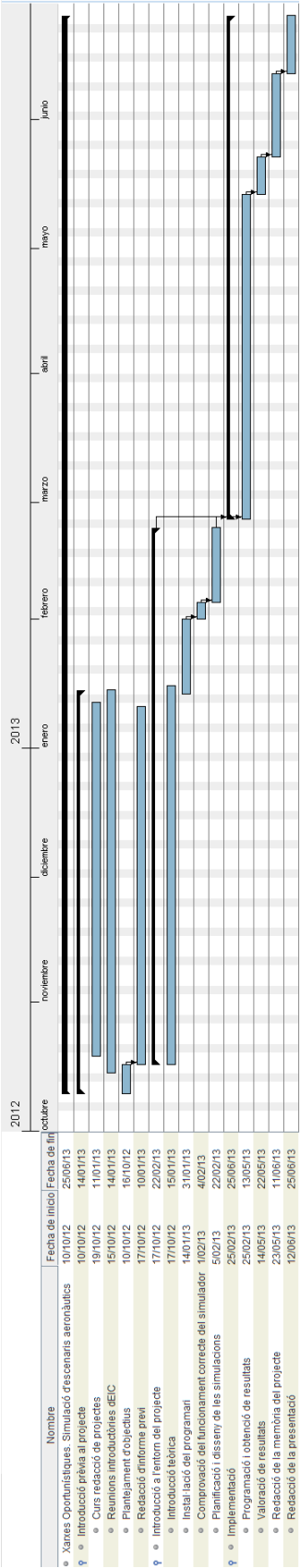


Figura 1.1: Planificació del projecte

1.4 Viabilitat tècnica del projecte

Tal com s'ha indicat a l'apartat anterior, aquest projecte el realitzarem sota programari de domini públic, disposant de llicències lliurades per l'Escola d'Enginyeria en cas contrari.

Aquest projecte basarà tota la seva implementació en les eines que es descriuran en el capítol corresponent, depenent doncs del bon funcionament i les possibilitats que aquestes ofereixen per a la programació. En segon lloc, aquest projecte pren com a punt de partida la feina realitzada per en Rubén Martínez Vidal per a la seva tesis doctoral, que d'altra banda també ha estat tutor tècnic d'aquest projecte.

D'altra banda, aquest projecte no presenta conflictes de caire ètic o legal que en poguessin dificultar o impedir la realització, mentre que la seva implantació en l'entorn aeronàutic real resultaria molt difícil en haver de superar controls i validacions de nombrosos organismes.

La implantació és doncs fora de projecte, el que converteix a aquest projecte en una proposta acadèmica, possiblement amb implicacions en una futura oferta a les autoritats aeronàutiques.

1.5 Estructura de la memòria

Dividim la present memòria en diferents capítols, cadascun dels quals pretén aclarir el funcionament i formar part del conjunt que permetrà assolir els objectius plantejats per a aquest projecte.

Al segon capítol s'hi analitzarà l'estat de l'art respecte a les xarxes DTN, repassant els components i funcionament d'aquestes, a més de presentar-hi el cas concret d'estudi que abarca aquest projecte, és a dir, una DTN sobre l'Atlàntic Nord.

Al tercer capítol s'hi descriuen les eines emprades per al disseny i implementació, entre les quals s'inclou el simulador de xarxa ns3, així com la simulació base a partir de la qual s'ha aplicat els diferents algorismes d'encaminaments.

El quart capítol correspon al de desenvolupament, i s'hi poden discernir els mètodes emprats per a la implementació dels diferents algorismes, així com un punt de vista proper a tot el procés de desenvolupament de les diferents aplicacions.

A partir de la feina presentada al punt de desenvolupament, s'analitzaran els re-

sultats obtinguts sobre la xarxa DTN d'avions així com l'impacte dels diferents algorismes d'encaminament dissenyats.

Per últim, al capítol de conclusions s'hi detallarà els resultats obtinguts i les implicacions d'aquests sobre els objectius plantejats al llarg del projecte.

Capítol 2

Estat de l'art

En aquest capítol hi detallem les característiques que defineixen el funcionament i aplicacions de les DTN generals, a més d'il·lustrar els trets concrets de l'escenari sota estudi en aquest projecte, és a dir, el d'una DTN sobre l'Atlàntic Nord.

2.1 Delay-Tolerant Networks

L'aparició dels protocols de la família TCP/IP va suposar en el seu moment un gran avenç de cara al funcionament pràctic d'Internet, no obstant existeixen situacions on el seu ús és poc pràctic o simplement no és possible implementar aquest tipus de protocols. Aquestes situacions corresponen a aquelles en les que les comunicacions entre xarxes pateixen de desconnexions o bé de retards molt grans en el lliurament de missatges. Per a resoldre aquest conflicte aparegué el concepte de xarxes tolerants a retards, o DTN per les seves inicials en anglès. Al 2007 es publicà un RFC per part de l'IRTF on s'hi especificava un model d'arquitectura per a les DTN que permetés la connectivitat i la interoperabilitat[2]. La base per a una arquitectura orientada a xarxes tolerants a desconnexions rau en la idea d'una Internet a nivell espacial, la qual va evolucionar a partir de la problemàtica de les comunicacions espacials en entorns amb retards elevats, on l'ús dels protocols convencionals no resulta adient pel gran retard que pateixen les comunicacions. No obstant això, l'ús de xarxes DTN no és d'aplicació única a nivell espacial, sinó en qualsevol entorn subjecte a desconnexió, interrupció o que pateixi retards molt elevats que no facin possible la implementació de protocols de la família TCP/IP. El cas concret de

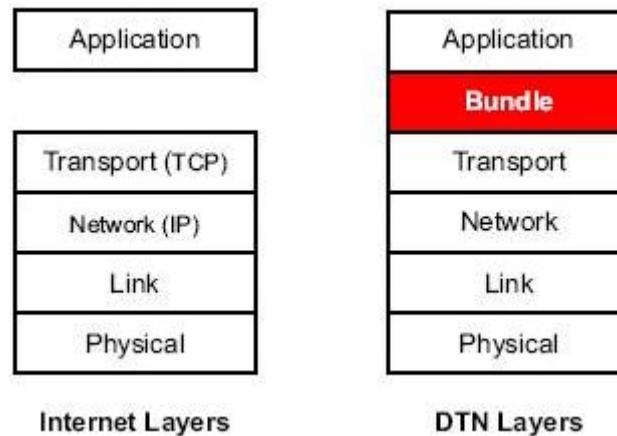


Figura 2.1: Bundle Layer

transmissions a l'Espai és un cas específic de gran interès i objecte d'investigació i estudi [3].

Altres exemples de camps subjectes a una possible implementació d'una xarxa DTN són xarxes basades en sensors que fan ús d'una connectivitat programada i intermitent, connexions via satèl·lit amb retards moderats i connectivitat periòdica, xarxes terrestres sense fils que degut a certes circumstàncies no són capaces de mantenir una connexió punt a punt, o xarxes acústiques subaquàtiques que pateixin d'interrupcions per qüestions meteorològiques. Aquests són uns pocs dels exemples on una DTN podria resultar d'utilitat, però se'n poden trobar de molts més.

Per a aconseguir l'objectiu de permetre la comunicació, a una DTN es fa ús d'una nova capa de la pila de protocols de comunicació la qual s'anomena bundle layer situada entre la capa de transport i la d'aplicació i que està ideada per al pas de missatges punt a punt. Els dispositius que implementen aquesta capa s'anomenen nodes bundle. Es pot veure la distribució d'aquesta capa a la pila de protocols mostrada a la figura 2.1.

La particularitat d'aquesta nova capa és que fa ús d'emmagatzematge persistent per tal de combatre interrupcions a la xarxa, de manera que cada node custodia els missatges que retransmet fins que té la oportunitat de lliurar-los o té la certesa que aquests han estat lliurats. S'inclou per tant fiabilitat salt a salt a més de confirmacions punt a punt opcionals i altres característiques. La transmissió típica d'una xarxa DTN s'aprecia a la figura 2.2.

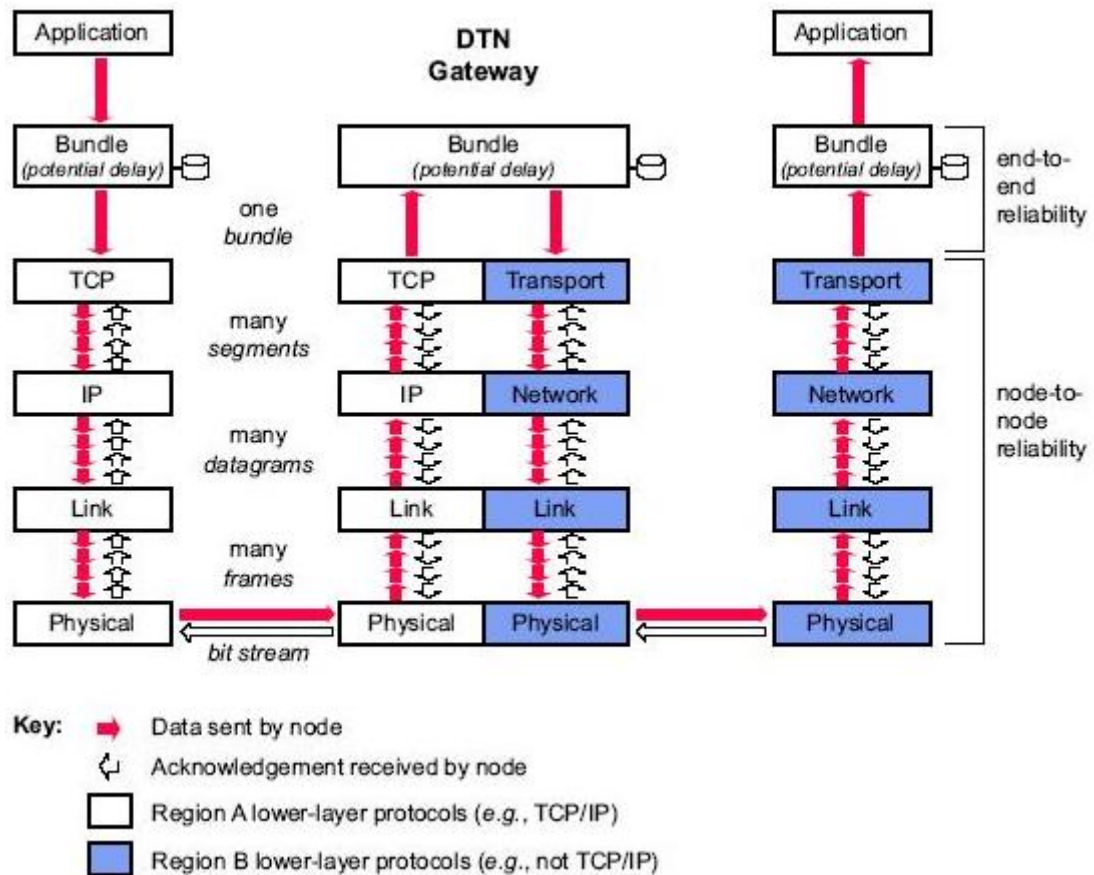


Figura 2.2: Esquema bundle

2.2 Descripció de l'arquitectura DTN

L'arquitectura DTN va ser concebuda amb la premissa d'establir certes relaxacions sobre algunes de les assumpcions presents als protocols de la família d'Internet, tals com l'existència d'un camí entre l'origen i el destí durant tota la comunicació, que la pèrdua d'informació és petita, que tots els routers coneixen TCP/IP o que transmetre el missatge a un sol router és suficient per tal d'arribar a la destinació. L'arquitectura DTN, en canvi, radica el seu funcionament en altres principis:

- Ús de missatges de mida variable, probablement llargs.
- Ús d'una sintaxi de noms que permet un ampli ventall d'adreçament per a

2.3. PAS VIRTUAL DE MISSATGES FENT ÚS DE STORE-AND-FORWARD⁹

millorar la interoperabilitat.

- Ús del mètode store-and-forward sobre múltiples camins i durant un llarg temps.
- Ús de mecanismes de seguretat per a garantir la protecció de la infraestructura.
- Proporcionar informació sobre el tipus del servei, opcions, i temps de vida de les dades per a permetre a la xarxa una millor transmissió d'aquestes.

No obstant això, les aplicacions que facin ús de la capa bundle també hauran de seguir certs principis de disseny per a facilitar la tasca d'aquesta, tals com ser capaces de suportar reinicis mentre hi ha lliuraments pendents a la xarxa i informar a aquesta sobre la importància i la vida útil de les dades a transmetre.

2.3 Pas virtual de missatges fent ús de store-and-forward

Una aplicació DTN envia missatges de longitud arbitrària, també anomenats Application Data Units (ADUs) l'ordre relatiu dels quals pot no ser preservat. Els ADUs són habitualment enviats i rebuts per les aplicacions en unitats completes però són transformats a la capa de bundle en unitats de dades anomenades bundles que són retransmeses pels nodes de la xarxa.

Cadascun d'aquests bundles conté dos o més blocs de dades que poden contenir informació per a la transmissió o dades de l'aplicació i poden ser fragmentats formant en conseqüència dos o més bundles, que podrien tornar a ser fragmentats més endavant o unificats en un nou bundle.

De la mateixa manera que una xarxa basada en IP, una DTN farà ús del paradigma de store-and-forward, però en contrast a IP, on s'assumeix que l'emmagatzematge de dades no es donarà durant un llarg període de temps, en una DTN pot ser possible haver de mantenir bundles durant un llarg temps fent necessària l'aparició d'emmagatzematge persistent, que sigui tolerant a reinicis del sistema. Degut a que no s'assumeix que la ruta està sempre disponible els bundles podrien anar acumulant-se en un node fins que existeixi l'oportunitat per a enviar-los cap a un

altre node. Per a facilitar tasques de programació d'enviaments i selecció de camins quan aquests estiguin disponibles, els bundles contindran una marca de temps, temps de vida, tipus de servei i llargada; que serviran totes d'informació per a la capa bundle.

En resum, qualsevol arquitectura DTN es basa en un element essencial, i aquest és que la transmissió no es dona fins que existeix visibilitat entre dos nodes, de manera que la informació s'ha d'encuar mentre no aparegui la oportunitat d'enviament. Aquesta assumpció fa palesa la necessitat d'un emmagatzemament robust, suficient i ben distribuït a la xarxa, que permeti l'aplicació del model store-and-forward per a el cas concret de les DTN.

2.4 Nodes i extrems

Un node d'una DTN és un dispositiu que permet la recepció i l'enviament de bundles, és a dir, que implementa la capa de bundle a la seva pila de protocols. Les aplicacions doncs, utilitzen nodes DTN per a l'enviament d'ADUs, contingudes dins els bundles.

Els nodes poden ser membres de grups anomenats extrems DTN, que consisteixen en un grup de nodes. Es considera que un bundle ha estat lliurat correctament a un extrem DTN quan un mínim subgrup de l'extrem ha rebut el bundle sense cap error. Aquest subgrup s'anomena grup de recepció mínim (MRG per a la seves inicials en anglès) i pot referir-se a un sol node, un node d'entre un grup o tot un grup de nodes. Un sol node pot trobar-se al MRG de múltiples extrems.

Per a identificar diferents extrems s'utilitzen EID (Endpoint Identifier) que consisteixen en un nom expressar amb la sintaxi general d'URI o Uniform Resource Identifier [6]. Utilitzant l'EID, es pot determinar el MRG del node extrem i es requereix que cada node DTN disposi d'un EID que l'identifiqui de manera única.

2.5 Encaminament a les DTN

La pròpia arquitectura de les DTN proveeix d'una infraestructura per a l'enrutament i transmissió dels missatges generats per la capa de bundle. Donat que els

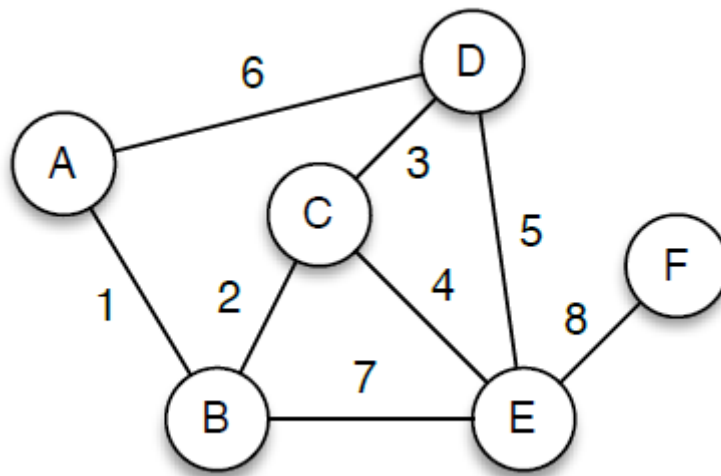


Figura 2.3: Multi-graf DTN

nodes d'una DTN poden estar interconnectats per diferents tecnologies d'accés a la xarxa, aquest tipus de xarxes es descriuen de manera abstracta a partir de multi-grafs, com a la figura 2.3, on els les arestes, com a regla general, varien amb el temps en funció del retard que pateixin i la capacitat del canal.

Donat que el valor de les arestes pot variar entre capacitat positiva i zero, que representaria un estat de desconexió entre nodes, és possible descriure un període de temps durant el qual la capacitat d'enviament i el retard són constants. A aquest interval se l'anomena finestra de connectivitat. A més, el producte de la capacitat i l'interval de connectivitat es coneix com el volum de contacte. Si aquests valors són coneguts en previsió, s'hi poden aplicar mecanismes intel·ligents d'encaminament. No obstant això, sovint caldrà fragmentar les ADUs en unitats més petites que siguin més fàcilment enrutables.

Quan els camins de lliurament d'una DTN presenten pèrdues o no se'n coneixen els intervals de connectivitat l'enrutament pot presentar reptes importants i el tractament d'aquestes situacions forma part de l'àmbit d'estudi de les DTN.

Entre els protocols d'encaminament més habituals a les DTN són els següents:

- Epidèmic. En aquest tipus d'encaminament els nodes repliquen i envien contínuament els missatges a transmetre als nous nodes descoberts a la xarxa que

no disposen d'una còpia del missatge. Aquest mètode presenta l'inconvenient de generar inundacions de missatges que poden afectar negativament al rendiment de xarxa a més de fer un ús excessiu dels recursos en no eliminar replicacions que no milloren el percentatge de lliurament a la xarxa. Aquesta estratègia resultaria efectiva en el cas que els contactes fossin completament aleatoris, situació que no es dona a la pràctica real.

- **PRoPHET**. Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity. Aquest mètode fa ús d'estadístiques probabilístiques de contactes per tal d'explotar la falta d'aleatorietat dels contactes a les aplicacions reals. D'aquesta manera la transmissió del missatge es realitza només en el cas que el destinatari tingui major probabilitat de lliurar-lo que no pas el portador.
- **Spray and Wait**. Aquest protocol d'enrutament pretén obtenir els beneficis pel que fa al guany de percentatge de lliurament de paquets de models d'enrutament bastats en la replicació al mateix temps que es vol mantenir un baix ús dels recursos a partir de la imposició d'una fita superior respecte al nombre màxim de còpies permeses per a cada missatge dins la xarxa.
- **MaxProp**. Aquest model d'encaminament fa ús de les mateixes tècniques que l'encaminament epidèmic, però incorpora la gestió de cues de prioritats ordenades per tal de discernir quins missatges disposen de més probabilitat de ser transmesos o descartats, on l'ordre ve donat per les possibilitats que un determinat node aconsegueixi establir un camí amb el destí final.
- **RAPID**. Resource Allocation Protocol for Intentional DTN routing. De la mateixa manera que MaxProp, RAPID fa ús d'encaminament epidèmic, però sota la premissa de millorar una mètrica de la xarxa. Per a això es fa ús d'una funció d'utilitat que assigna a cada paquet un valor en funció de la mètrica prioritzada beneficiant la transmissió dels paquets que tinguin una millor afectació en la mètrica esmentada.

Aquests mecanismes conformen la base de molts algorismes moderns d'encaminament a les DTN i cal tenir en consideració que existeixen modificacions sobre aquests que en varien el funcionament.

2.6 Cas d'estudi. Xarxes aeronàutiques

La comunicació entre els diferents avions que poden compondre un escenari típic de navegació aèria esdevé vital per al bon funcionament d'aquesta. No obstant, la comunicació per ràdio, en la que es basen les telecomunicacions en aquests tipus de transport, pateix d'un abast limitat que la fa poc indicada o òptima per a certes aplicacions. Aquesta situació afegida a la mobilitat intrínseca als avions, que circulen a més per zones aïllades genera un dilema pel que fa a la connectivitat, tan entre avions com d'avió a terra i viceversa.

Donat aquest esquema, l'aplicació dels paradigmes de comunicacions referents a xarxes DTN permetrien assolir un nivell de connectivitat entre els diferents avions que permetria el pas de missatges entre ells sempre i quan aquests estiguessin als seus respectius abastos d'ones de ràdio, moment en el que es podrien realitzar comunicacions entre ells i, en cas que fos necessari, actuar com a gateways de la DTN enllaçant fins al destí final.

Per tant, de cara a l'assoliment dels objectius plantejats en aquest projecte, es treballarà sobre una xarxa DTN dissenyada sobre l'entorn aeri de l'Atlàntic Nord, on cadascun dels avions representarà un node de la xarxa amb capacitat de rebre i transmetre missatges propis i aliens segons les normes descrites per un protocol d'encaminament compartit. Aquest escenari es basa en l'estudi realitzat per Rubén Martínez Vidal a [14].

Aquesta xarxa està composta per un màxim de 2700 nodes cadascun dels quals segueix una ruta prefixada sobre l'Atlàntic i disposa d'un rang de radio determinat, el qual marcarà els contactes que estableixi amb d'altres nodes.

Les dades referents a cadascun dels nodes van ser obtingudes pel grup de recerca en xarxes oportunistiques del dEIC i van ésser publicades [paper] de manera que conformaran la base de la mobilitat de la xarxa que conformarà la DTN sota estudi. Aquesta xarxa esdevé un model a gran escala d'una DTN d'aviació comercial transoceànica i, a diferència de models que suposen cobertures de ràdio de gran abast (300 a 600km), en el cas d'estudi d'aquest projecte s'empren sistemes de comunicació basats en IEEE802.11b/g amb un abast màxim de 20 km. Aquesta diferència en l'abast suposa una gran diferència pel que fa a la topografia de la xarxa, ja que la reducció implica una connectivitat molt menor entre els nodes que determina la di-

ferència entre una aproximació des de l'àmbit de les MANET o, com és en el nostre cas, de les DTN.

La diferència en el model significa una solució que implica un cost menor per a la comunicació i que podria ser utilitzable com a servei de seguretat en cas que altres sistemes no estiguessin disponibles (p.e. rutes polars).

2.7 Resum

En aquest capítol s'hi ha descrit l'estructura essencial d'una DTN, així com els components que la conformen. D'altra banda, també s'hi ha detallat a la secció 2.5 els diferents mecanismes generals d'encaminament aplicables sobre qualsevol xarxa DTN.

Per últim, a la penúltima secció d'aquest capítol s'hi ha descrit amb cert nivell de detall el cas d'estudi que conforma aquest projecte, especificant els detalls respecte al nombre de nodes que conformen la xarxa, així com altres especificacions referents a l'abast de ràdio.

Capítol 3

Eines i entorn

En aquest capítol es farà un repàs a cadascun dels elements del programari utilitzat per a la realització d'aquest projecte, així com totes les eines que han estat necessàries per a la seva realització.

3.1 Simulador ns3

L'eina fonamental per a la realització de les simulacions de la xarxa DTN en la que es centra aquest projecte és el simulador ns3. Ns-3 és un simulador d'events discrets de xarxa indicat per al seu ús educacional i en l'àmbit de la recerca. Les simulacions funcionen en temps virtual i les accions s'ordenen en events que s'executen un darrere l'altre a diferents instants de temps.

El simulador consta a més de diversos mòduls ja implementats amb els que és possible realitzar simulacions d'una multitud de configuracions de xarxa, incloent tant xarxes cablejades com wi-fi i implementant l'ús de diferents protocols i a diferents capes. Tot això sent a més programari lliure i de disponibilitat pública.

El simulador funcionarà sota un entorn GNU/Linux i, com s'ha indicat anteriorment, s'utilitzarà part de la feina realitzada pel doctorand Rubén Martínez Vidal com a punt de partida per a aquest projecte, que transcorre en paral·lel a l'esmentada tesi.

El projecte ns3 va ser dissenyat per tal d'obtenir un entorn de simulació sòlid i ben documentat, en el qual fos fàcil tan d'utilitzar com debugar. A més, ns3 fomenta el desenvolupament de models realistes que puguin fer de ns3 una eina adequada per

a ser utilitzada com a simulador de xarxa en temps real, mantenint la interconnexió amb el món real i fent ús de protocols d'ús actual.

Tot i suportar tan models de xarxa basats en IP com d'altres que no en fan ús, la major part dels usuaris de ns3 se centren en simulacions wireless/IP, que involucren els models de Wi-Fi, WiMAX o LTE. El que és més, s'hi poden simular activitats de xarxa en qualsevol de les capes de la pila de protocols de TCP/IP.

Degut a la relació entre tots dos projectes, s'ha utilitzat una mateixa versió del simulador ns3, per tal d'evitar possibles conflictes en les simulacions. La versió del simulador ns3 emprada per a la realització total d'aquest projecte ha estat ns3-11.

Per altra banda, la creació de scripts en ns3 es realitza en C++ o Python, requerint doncs d'un coneixement de llenguatges orientats a objecte donat que per a tots dos casos els models estaran escrits i dissenyats en C++. Existeixen certes peculiaritats del llenguatge orientades al seu funcionament dins d'aquest entorn concret que formen part de coneixements més avançats en la matèria i que seran detallats, si escau, més endavant.

3.2 Abstraccions en la simulació

En aquesta secció s'hi revisaran certs conceptes que s'utilitzen amb certa freqüència en l'àmbit de les xarxes, però que tenen connotacions especials dins l'entorn de ns3.

3.2.1 Node

En el vocabulari utilitzat a Internet, un ordinador o dispositiu que es connecta a una xarxa s'anomena host o en ocasions sistema extrem. Donat que ns3 és un simulador de xarxa, i no específicament un simulador d'Internet, el terme host no resulta aplicable ja que resulta d'associació molt directa amb Internet i els protocols involucrats en la Xarxa. Al seu lloc, s'hi utilitza un terme més genèric, node.

En ns3, s'anomena a l'abstracció de l'element bàsic de computació node, i es representa en C++ mitjançant la classe Node que proveeix de mètodes per a manejar les representacions d'aquests dispositius a les simulacions. S'ha d'entendre un Node com a un ordinador al que s'hi afegirà funcionalitat en funció de les tasques que es vulguin implementar, és a dir, s'hi podrien afegir aplicacions, piles de protocols i

altres entitats tan software com hardware.

3.2.2 Aplicació

Típicament, qualsevol software computacional es divideix en dues classes. El software de sistema organitza els recursos de l'ordinador, tals com memòria, cicles del processador, disc, etc., segons el model de computació. D'altra banda s'hi troben les aplicacions o el software que té contacte directe amb la interacció de l'usuari. La separació entre aquestes dues classes es dona en el nivell de privilegis, que venen concedits i gestionats pel sistema operatiu.

A ns3 no existeix el concepte de sistema operatiu, ni de nivell de privilegis o crides a sistema. Si existeix, no obstant, el concepte d'aplicació. De la mateixa manera que els ordinadors fan funcionar les aplicacions al món real, les aplicacions ns3 funcionen sota l'entorn de simulació incloses dins de Nodes.

L'abstracció bàsica per a un usuari programador que vol generar activitat de xarxa és l'aplicació, que ve definida sota la classe de C++ Application, la qual proveeix de mètodes per a gestionar la visió personalitzada de la capa d'aplicació.

3.2.3 Canal

Al món real, un ordinador pot ser connectat a una xarxa, el medi físic de connexió per on les dades flueixen s'anomena canal. Al món simulat de ns3, els diferents Nodes es connecten a un objecte que representa el canal de comunicació. L'abstracció a aquest nivell es realitza a partir de la classe C++ Channel, que permet gestionar mètodes per a connectar nodes entre ells.

3.2.4 Dispositiu de xarxa

Per tal d'interconnectar un ordinador a una certa xarxa, aquest ha de disposar dels medis necessaris per tal d'accedir a la topologia física d'aquesta, disposant doncs d'alguna interfície que habiliti aquest accés disposant a més dels controladors necessaris integrats al sistema operatiu per tal de fer ús del dispositiu físic.

En l'entorn del simulador ns3, l'abstracció per a aquest punt cobreix tant el nivell hardware com el de software. Qualsevol dispositiu d'accés a la xarxa "s'instal·la"

doncs en un Node per tal d'habilitar la capacitat d'aquest Node de comunicar-se amb altres Nodes de la simulació mitjançant Channels. De la mateixa manera que podria passar en un entorn real, un mateix node podria estar connectat a diferents canals fent ús de diferents dispositiu d'accés a la xarxa.

Aquests dispositius es presenten en ns3 sota la classe NetDevice, escrita en C++, de la qual existeixen nombroses especificacions en funció de l'entorn de xarxa al qual s'accedeix.

3.2.5 Topology helpers

En una xarxa real, ens trobem ordinadors amb dispositius de comunicació de xarxa, anàlogament, a ns3 trobem Nodes amb NetDevices associats. En una xarxa simulada prou gran, pot donar-se el cas que hagin de gestionar-se nombroses connexions entre Nodes i NetDevices i Channels, havent d'assignar adreces, etc. Donat que aquestes operacions resulten molt comunes en l'entorn de simulació, ns3 proveeix el que s'anomenen topology helpers, que pretenen facilitar les operacions descrites i simplificar el disseny del model desitjat.

3.2.6 Registres d'activitat

Molts sistemes suporten d'alguna manera algun servei de registres o logging, en aquest cas, el simulador ns3 no és una excepció i proporciona missatges durant l'execució de la simulació que permeten l'obtenció de dades en temps de simulació així com la generació de missatges de diversos tipus. Ns3 pren un punt de vista on es considera que el logging pot realitzar-se des de diversos nivells, però no pretén emfatitzar cap d'ells, en lloc d'això, es proporciona un sistema de registre multinivell i seleccionable.

D'aquesta manera, es proporcionen 7 nivells de log que poden ser seleccionables en funció del cas per mostrar els missatges més adients. Els nivells són els següents:

- NS_LOG_ERROR. Per a missatges d'error.
- NS_LOG_WARN. Per a missatges d'advertència.
- NS_LOG_DEBUG. Per a missatges orientats a debugging.

- NS_LOG_INFO. Missatges informatius sobre el procés del programa.
- NS_LOG_FUNCTION. Missatges descriptius sobre les funcions cridades.
- NS_LOG_LOGIC. Log de missatges descriptius del flux lògic d'una funció.
- NS_LOG_ALL. Log de tots els missatges.

Adicionalment, també es proporciona un nivell de registre que sempre es mostra al marge dels nivells seleccionats:

- NS_LOG_UNCOND. Mostra el missatge associat sense dependre de cap condició ni selecció.

Cada nivell pot ser seleccionat individual o col·lectivament i el logueig pot ser configurat utilitzant una variable d'entorn (NS_LOG) o utilitzant una crida al sistema.

3.3 Simulació base

Com s'ha indicat anteriorment, aquest projecte pren com a punt de partida una part de la tesi doctoral de'n Rubén Martínez Vidal, recorrent un camí paral·lel des d'aquest punt.

En concret el punt de partida ha estat l'entorn de simulació concret en el qual s'hi introduiran les modificacions sobre els algorismes d'encaminament. Aquesta simulació consisteix en una hipotètica xarxa DTN formada per 2700 avions que sobrevolen l'espai aeri de l'Atlàntic Nord. Aquest espai aeri conforma un dels més densos de tot el planeta i té la peculiaritat que es regeix per corredors (figura 3.1) que marquen la ruta que han de seguir els avions sota unes certes restriccions pel que fa a la separació entre ells.

En el plantejament proposat però, l'aproximació realitzada dista sensiblement d'aquest model i es detallarà al següent capítol, sota el títol Modelització de les rutes de vol. D'altra banda, el model de comunicacions i pas de missatges entre els diferents nodes de la xarxa es detallarà a la darrera secció d'aquest capítol, Contactes i pas de missatges.

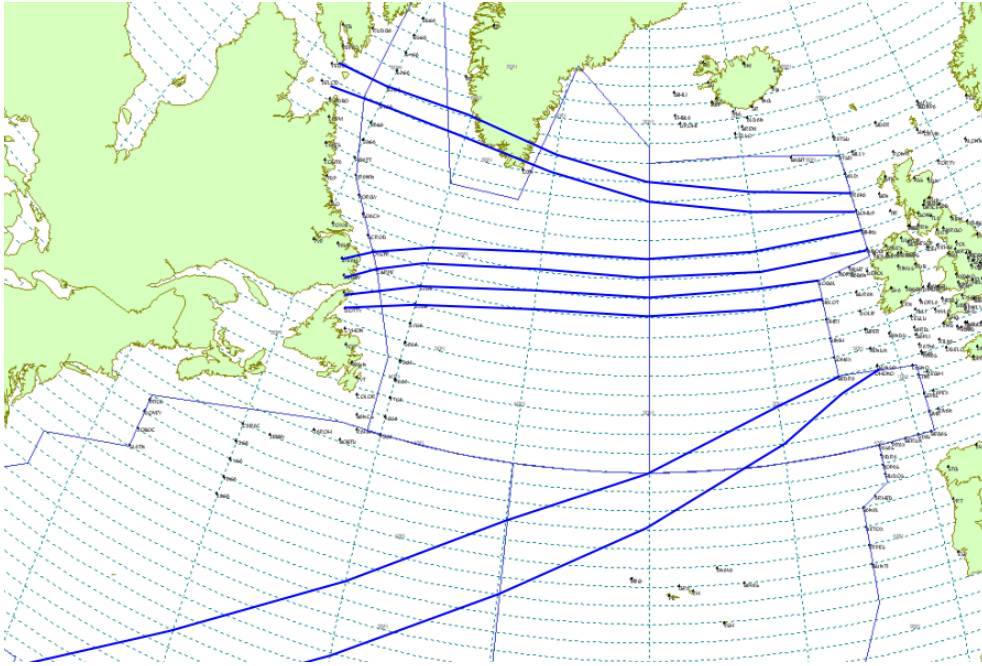


Figura 3.1: Corredors sobre l'Atlàntic Nord

3.3.1 Modelització de les rutes de vol

La generació de models de mobilitat per al seu ús en simulacions per a qualsevol xarxa pot dividir-se essencialment en dues categories. El primer d'ells és fent ús de models teòrics o sintètics i el segon fent ús de models empírics.

Tot i que els primers poden resultar adients en certs casos, els models sintètics poden presentar inconsistències que no s'adequarien al model de funcionament real i, per tant, invalidarien els experiments en el moment de voler aplicar-ho al món real.

Per encarar aquestes dificultats l'ideal resultaria fer ús de traces de mobilitat obtingudes a partir de escenaris reals per tal de generar un model consistent amb la realitat. Aquest projecte en concret es basa en el model de mobilitat dut a terme a [14] on, a diferència d'altres estudis, s'imposa la limitació de connectivitat d'ones de radio a 20km, simulant doncs una connectivitat WiFi provocant l'existència d'una connectivitat més limitada podent explotar doncs les característiques d'una xarxa DTN.

Per al propòsit d'obtenció de les rutes concretes, es va treballar sobre una base de dades de prop de 60000 rutes a nivell mundial, a partir de les quals es van imposar les limitacions concretes del model com són el fet de creuar l'espai aeri de l'At-

l'Atlàntic Nord. Sobre aquest nou conjunt s'hi va determinar la freqüència de vol dels diferents avions seguint dades reals, assignant doncs temps de vol a cadascun dels nodes en un temps estàndard per a tots els nodes compartit durant la simulació.

Aquest subconjunt generat consta d'un total de 2700 nodes cadascun dels quals segueix una ruta fixada per punt via generat a partir del model de mobilitat estudiat i que segueix la trajectòria de la ruta, incloguent també l'hora de sortida i la velocitat, prefixada a 285.852m/s que és la velocitat estàndard de creuer per a la majoria d'avions comercials.

Cal tenir en compte que aquest model resulta una simplificació del model real, ja que no té en compte les normes de separació que regeixen el trànsit aeri ni les directives específiques que s'apliquen a l'entorn concret de l'Atlàntic Nord. De totes maneres, les rutes fixades es consideren una aproximació vàlida del model real, ja que una hipotètica aplicació d'un model realista no tindria afectacions importants en el funcionament general.

3.3.2 Contactes i pas de missatges

En disposar del model de mobilitat, cal definir en aquest punt quin és el sistema de connectivitat del qual fa ús la simulació. Amb l'objectiu d'obtenir un sistema de comunicació de cost baix, s'utilitzarà un sistema que faci ús dels estàndards IEEE802.11b/g. Donat que es vol aconseguir un rang prou gran per assegurar la connectivitat d'una DTN, cal tenir en compte els guanys de les antenes tant de l'emissor com del receptor, així com el possible soroll del canal.

A gran altitud s'eviten obstacles naturals i ambientals, per tant s'hi pot considerar un canal de comunicació lliure. Sota aquestes condicions el màxim rang teòric esdevé de 19,851km. No obstant degut a que l'estudi en el que es basa aquesta simulació va ser completar a posterioritat de l'inici d'aquest projecte, el model amb el que s'ha treballat ha estat d'un rang de 15km per avio, tal i com es pot veure a la figura 3.2.

Per tal de poder detectar els nodes adjacents que puguin entrar a la zona de transmissió, existeix un mecanisme de descobriment de veïns, que consisteix en un serveix que fa ús de multicast sobre UDP que realitza un broadcast periòdic de paquets. De la mateixa manera, es registren els missatges del mateix tipus generats per

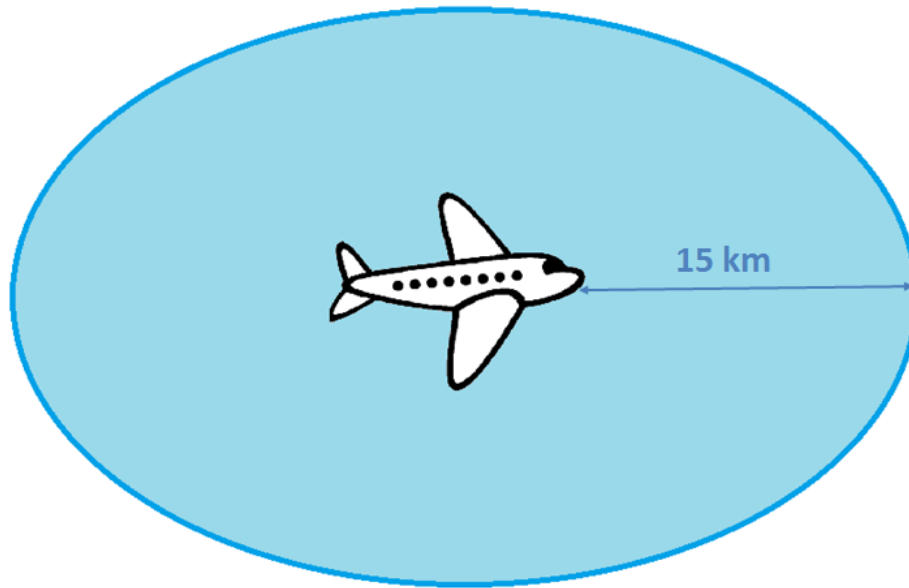


Figura 3.2: Rang WiFi

altres nodes i són identificats com a contactes. La freqüència d'enviament d'aquests missatges en broadcast és de 10 segons i es realitza utilitzant adreçament IPv4.

En referència a l'enviament de missatges per part de cada node en aquest model de simulació, aquest lliurament segueix un model epidèmic. Tal i com s'ha descrit anteriorment, el model epidèmic consisteix en transmetre el missatge a tots aquells nodes que no disposin d'una còpia d'ell, resultant doncs en una inundació del canal que, eventualment, podria col·lapsar els recursos.

És precisament sobre aquest punt de la simulació, el pas de missatges, on s'hi realitzaran modificacions referents al mecanisme d'encaminament i lliurament de missatges per tal d'obtenir un nou model que permeti una bona circulació de la informació al mateix temps que permeti fer una millor gestió dels recursos disponibles.

3.4 Altres eines emprades

Un cop detallades les eines més importants emprades per a la realització del projecte s'enumeraran en aquest punt les eines secundàries de les quals s'ha fet ús per a la

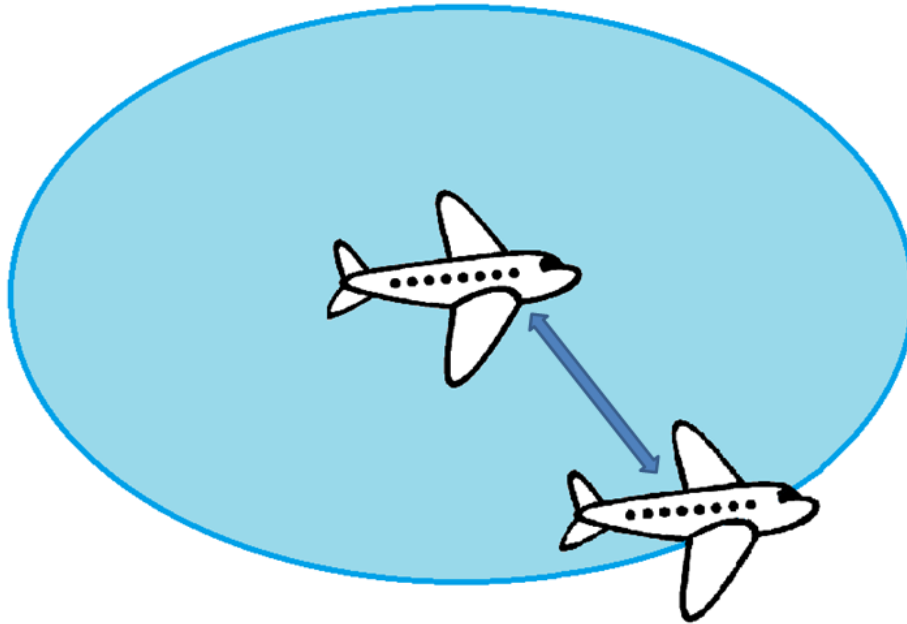


Figura 3.3: Descobriments de veïns

realització de les tasques que involucra aquest projecte, tant per a la realització directa dels objectius, com altres instruments que han tingut implicació per a la realització d'altres tasques relacionades amb el projecte. D'entre aquest grup hi destaquen:

- Sistema operatiu. S'ha emprat la distribució Ubuntu 12.10, que forma part del programari lliure i gratuït. L'elecció d'aquest sistema operatiu va venir motivada per la fàcil integració de l'entorn de simulació en ell així com el fet de no generar cap cost econòmic addicional.
- Espai personal online a SeNDA. Als projectistes del dEIC se'ns va proporcionar un espai personal a la pagina del grup de recerca SeNDA on poder desar els nostres avenços, podent a més mantenir una memòria dels processos realitzats.
- Eines ofimàtiques. Per a les tasques de redacció dels documents lligats a aquest projecte s'ha fet ús de l'editor $\text{L}\text{\AA}\text{X}$ pel sistema de composició de documents $\text{L}\text{\AA}\text{T}\text{E}\text{X}$, així com l'entorn ofimàtic LibreOffice per a altres tasques de redacció.

- Eines de suport. Per a la realització de tasques d'altre caire a les indicades anteriorment, com el disseny de diagrames de flux i diagrames de Gantt s'ha fet ús de les eines lliures Dia, per al cas dels diagrames de flux, i GanttProject per als diagrames de Gantt.

3.5 Resum

En aquest capítol hi hem presentat les diferents eines utilitzades al llarg del desenvolupament de tot el projecte així com l'entorn de simulació utilitzat i la base sobre la qual s'hi han implementat les diverses modificacions corresponents al desenvolupament d'aquest projecte. S'hi han introduït també conceptes teòrics lligats al marc de desenvolupament dins el simulador ns3 que ha calgut comprendre per a la realització del projecte.

Capítol 4

Desenvolupament

En aquest capítol s’hi detallen els procediments realitzats en l’àmbit del projecte i que conformen el bloc central de les implementacions realitzades sobre la simulació base exposada anteriorment. Es detallarà a continuació, doncs, els diferents algorismes d’encaminament, tant la seva raó de ser com la implementació en l’entorn de simulació.

4.1 Nous algorismes d’encaminament

L’escenari plantejat però, planteja dos situacions que, o bé no s’adiguen a la realitat, o bé no suposen una bona decisió pel que fa al rendiment de xarxa.

Respecte al segon d’aquests punts, el model fa ús d’un encaminament epidèmic, és a dir, envia el missatge a tots aquells veïns als que descobreix, resultant en un escenari on existeixen nombroses còpies d’un mateix missatge. Tractant-se a més d’un escenari on la finestra de connectivitat és limitada, pot resultar d’utilitat implementar certs mecanismes d’encaminament que millorin la situació descrita.

Es plantegen en aquest punt diverses alternatives respecte l’encaminament epidèmic per defecte. La primera d’elles resulta en la limitació d’aquest comportament mitjançant l’ús d’una constant que esdevingui un valor límit dels missatges que es permetin transmetre a altres destinacions.

La segona alternativa es basa en l’ús de paràmetres de vol associats a cadascun dels nodes a partir dels quals es determinarà una lògica subjacent per a implementar l’encaminament. A continuació s’hi detallen totes dues variants.

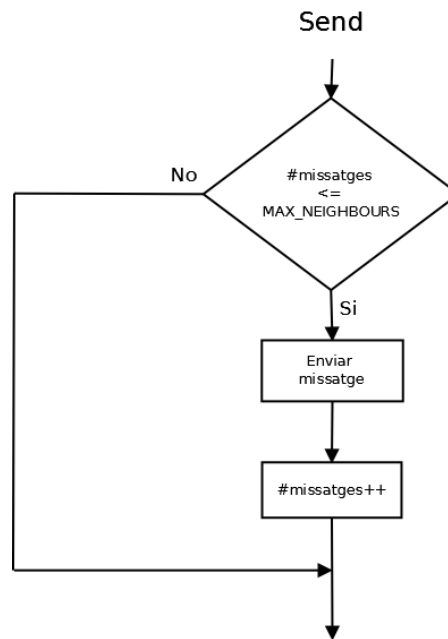


Figura 4.1: Limited epidemic

4.1.1 Limitació de l'encaminament epidèmic

Com s'ha indicat a la secció anterior, la primera millora plantejada sobre l'encaminament radica en la limitació del nombre màxim de missatges que cada node pot replicar a la xarxa, es tracta d'implementar un funcionament doncs d'estil spray and wait.

Amb aquest objectiu s'ha dissenyat una aplicació en C++ per a l'entorn de simulació que tracta aquest projecte, on s'hi ha definit una constant per a limitar l'esmentat pas de missatges. S'ha anomenat a aquesta aplicació limited-epidemic i el diagrama de flux corresponent al seu funcionament es pot veure a la figura 4.1.

La constant corresponent al màxim de veïns als quals és permès transmetre una còpia ha estat també objecte d'estudi en aquest projecte per tal de trobar la constant més adient per al cas concret que proposa l'escenari descrit. Donat que l'encaminament epidèmic sobre aquest escenari fa una transmissió, en promig, de 3.7 paquets per node s'analitzarà l'impacte de l'aplicació de limited-epidemic sota les constants MAX_NEIGHBOURS 1, 2 i 3.

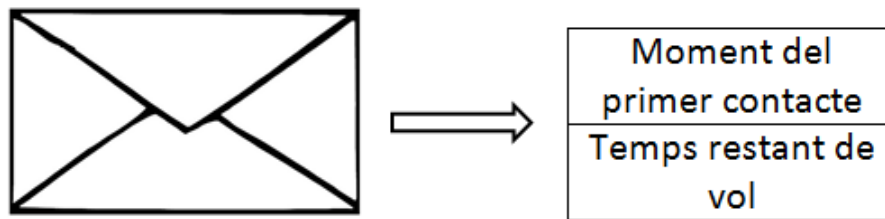


Figura 4.2: NeighbourDiscoveryMessage

4.1.2 Ús de paràmetres de vol

Aquest segon plantejament d'encaminament pretén determinar el lliurament d'un missatge a partir d'un cert paràmetre de vol. El paràmetre escollit per al seu estudi en aquest projecte ha estat el temps restant de vol, és a dir, s'escollirà el node a qui fer la transmissió del missatge el funció del menor temps restant fins a arribar a una zona de cobertura de radiofreqüència estàndard.

Per a implementar aquest funcionalitat no és suficient el desenvolupament d'una aplicació com en el cas anterior, ja que s'ha de modificar el mecanisme de descobriment de veïns per tal d'incloure en el missatge de descobriment les dades referents al temps de vol, per tal que els veïns coneguin aquesta informació.

En primer lloc cal crear una nova classe, a la que anomenarem NeighbourDiscoveryMessage (figura 4.2), la qual substituirà al missatge de descobriment i, per tant, haurà d'implementar mètodes de serialització i deserialització per tal de poder enviar la informació en forma d'array de bytes i poder reconstruir-la en la destinació.

D'altra banda, i com es pot veure a la definició de la classe en C++ anterior, inclourem al missatge també les dades referents al moment en que es produeix el contacte així com el temps restant de vol.

Seguidament, cal modificar el mecanisme de descobriment de veïns, o NeighbourDiscovery, per tal que faci ús d'aquest tipus de missatges i les envii en broadcast per a actuar com a descobriment de veïns.. Anomenarem a aquesta nova classe NeighbourDiscoveryTimeOfFlight, la implementació de la qual és la següent:

```
NeighbourDiscoveryTimeOfFlight Enviament {
    Temps_actual = Simulador.obtenirTempsActual()
```

```

    Temps_restant = Avio.obtenirTempsRestant();
    missatge = crearMissatge(temps_actual , temps_restant)
    paquet = crearPaquet(missatge)
    si ( enviar(paquet)>=0 )
        ...
    sino
        Mostrar error
}

```

Per últim, cal tractar com tractar les dades en la recepció, és a dir, en aquell node que rep un missatge de descobriment aliè. Per tractar les dades en la deserialització, s'ha muntat un esquema a cada node on s'hi manté un multimap amb les dades de descobriment de cada veí, on no només hi existeixen els valors ja considerats anteriorment, sinó que s'hi inclouen les dades referents al temps de vol.

```

NeighbourDiscoveryTimeOfFlight Recepció {
    mentre rebem dades
        Obtenim dades NeighbourMessage
        Busquem veí al multimap
        si el trobem
            Actualitzem dades del veí
        sino
            Afegim nou veí
}

```

Amb tot el muntatge anterior, el darrer pas per a la correcta implementació de l'algorisme descrit és dissenyar una aplicació, tal i com s'ha fet amb l'enrutament spray and wait, que faci ús dels mecanismes dissenyats i que s'han vist al llarg d'aquesta secció. S'ha anomenat a aquesta aplicació rtime-distribution i es pot veure un diagrama de flux del seu funcionament simplificat a la figura 4.3.

Cal indicar que el temps restant de vol es torna a calcular en cada oportunitat d'enviament en funció del temps transcorregut des de l'últim lliurament, de tal manera que en tot moment es selecciona l'avió a qui li resta menys temps a l'aire.

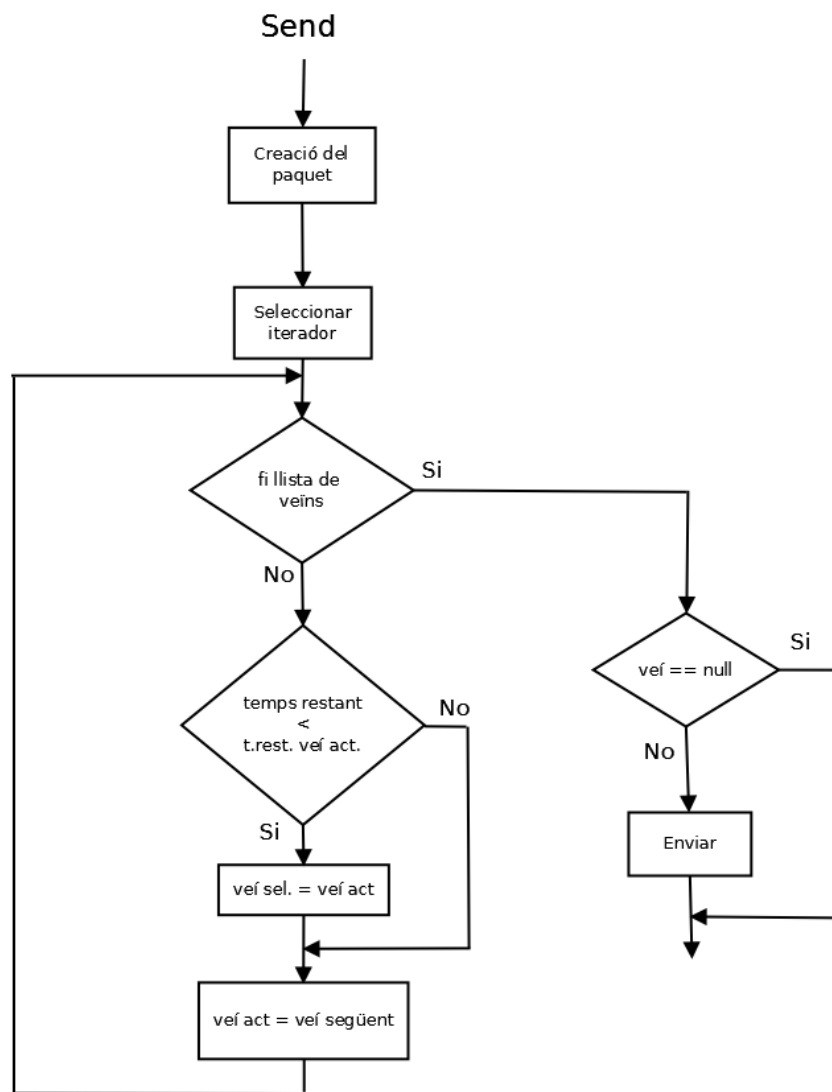


Figura 4.3: Diagrama de flux rtime-distribution

4.2 Disseny de les simulacions

Un cop dissenyades les aplicacions, el següent pas consisteix en posar-les a prova sota l'escenari de simulació descrit al capítol anterior per tal d'obtenir mètriques a partir de les quals analitzar l'impacte de l'aplicació d'un o altre algorisme.

Hem fet ús de dos models principals per a l'obtenció de resultats experimentals. El primer d'aquests models ha estat un model parcial on el nombre de nodes s'ha considerat una variable incremental entre simulacions, establint-se en un marge d'entre 900 i 1400 nodes. Aquest model, a més de suposar una càrrega computacional molt menor i, per tant, una dedicació temporal dels recursos més flexible, permet estudiar la influència del nombre de nodes a les característiques de la xarxa, podent eventualment fer una primera aproximació a altres oceans amb una densitat de vols menor. Cada configuració concreta de la xarxa s'ha repetit deu cops per tal de mantenir la consistència estadística.

D'altra banda, el model complet consta de 2700 nodes i s'ha emprat per a analitzar l'afectació dels diferents nodes sobre el temps de lliurament dels diferents paquets. Les mètriques principals estudiades han estat dues:

- Pèrdua de paquets
- Temps d'entrega

No obstant també s'han recollit altres mètriques amb l'objectiu d'establir una base conceptual sobre el funcionament de la xarxa en general. Entre aquestes mètriques s'hi inclouen les següents:

- Nombre de paquets a la xarxa
- Temps total de connectivitat
- Nombre de contactes
- Finestra mitjana de connectivitat

Al següent capítol s'hi presenten els resultats obtinguts per a les mètriques esmentades.

4.3 Resum

En aquest capítol hi hem presentat els diferents algorismes dissenyats, especificant el funcionament de cadascun d'ells, així com el procés que ha comportat el seu disseny. Els resultats de l'aplicació d'aquests algorismes es poden consultar al capítol següent, on s'hi mostren les mètriques presentades al punt 4.2.

Capítol 5

Resultats

En aquest capítol s’hi presenten els resultats obtinguts en les diferents simulacions, mesurats segons les mètriques determinades anteriorment.

5.1 Model incremental

Sota aquest model s’han conduït proves amb configuracions de xarxa d’entre 900 fins a 1400 nodes, realitzant increments de 100 nodes entre cadascuna de les simulacions. L’ús d’aquest model ha vingut motivat per la voluntat de fer un estudi de connectivitat a la xarxa i poder apreciar l’afectació del nombre de nodes als diferents paràmetres de xarxa. Els nodes de la xarxa s’escullen aleatòriament del conjunt global, per la qual cosa, i per tal de mantenir la consistència estadística, s’ha executat cadascuna de les simulacions un total de 10 cops.

5.1.1 Connectivitat de la xarxa

Mostrarem primerament l’evolució del nombre de contactes detectats a la xarxa en funció del nombre de nodes a la figura 5.1. Podem apreciar com apareix una tendència clarament creixent pel que fa al nombre de contactes entre els nodes en augmentar la densitat d’aquests en l’entorn de simulació.

D’altra banda, mitjançant la mitjana de la finestra de connectivitat, representem el temps promig del que cada node disposa per a l’enviament de les seves dades. La gràfica corresponent a aquestes dades es pot apreciar a la figura 5.2. En aquest se-

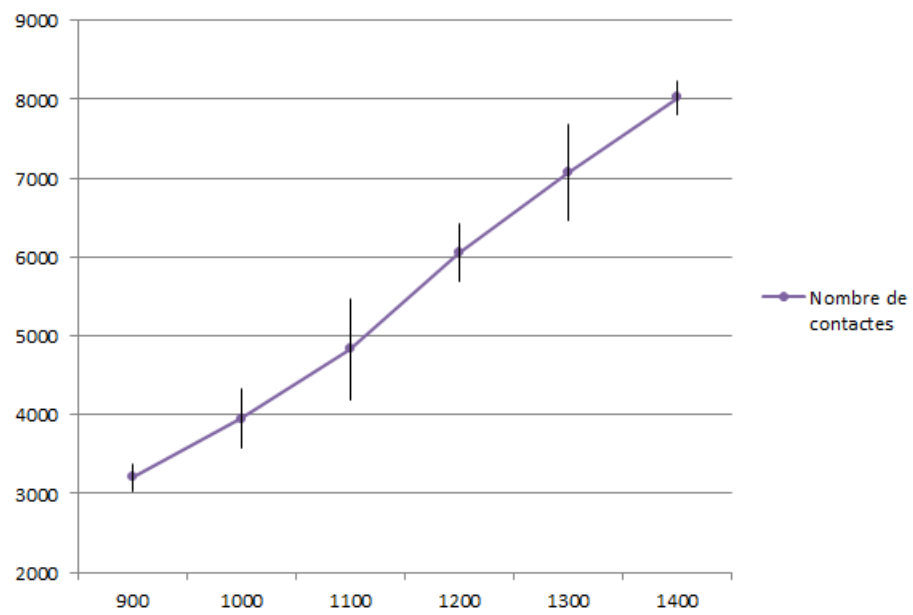


Figura 5.1: Nombre de contactes

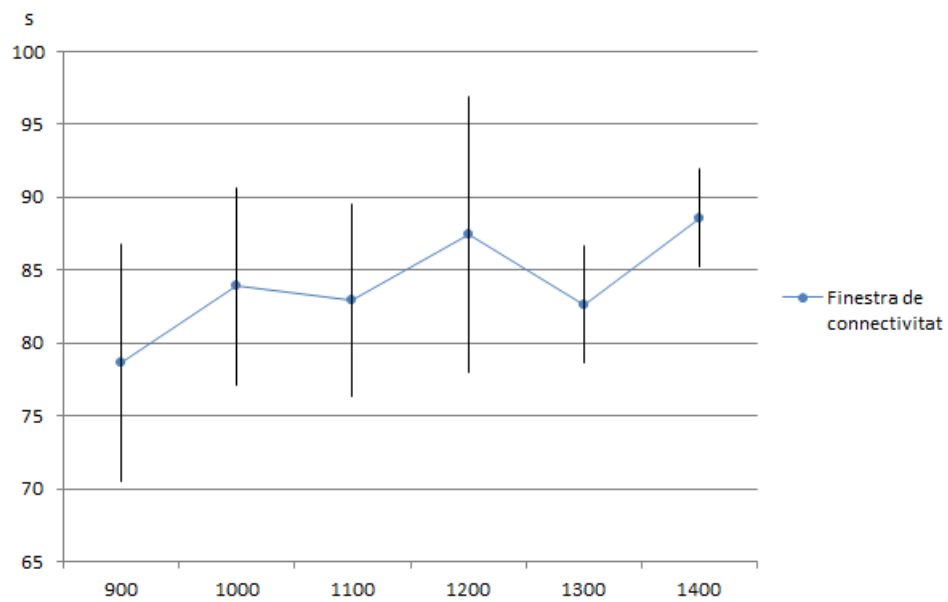


Figura 5.2: Finestra de connectivitat

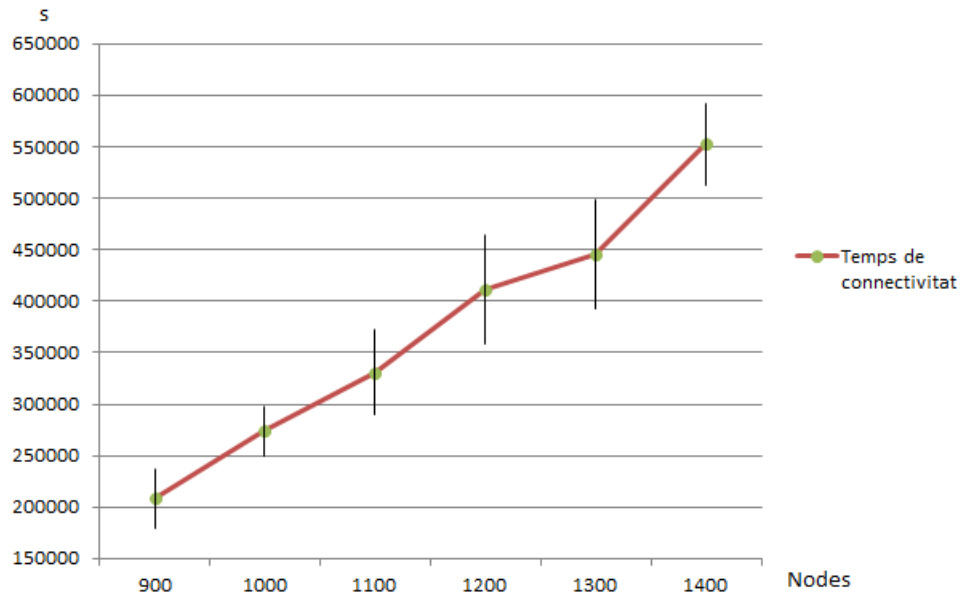


Figura 5.3: Temps de connectivitat

gon cas no s'observa la linealitat anterior, apreciant-se una tendència més irregular. No obstant els valors de finestra són en tots casos prou grans com per assegurar una connectivitat suficient. D'altra banda, les figures 5.1 i 5.2 poden associar-se en una sola mètrica que anomenarem temps de connectivitat. Aquest temps indica el valor total en segons que tots els nodes han disposat de connectivitat per a l'enviament de dades. La gràfica corresponent al temps de connectivitat de la xarxa correspon a la figura 5.3. En aquesta mètrica s'hi pot apreciar clarament que, malgrat la irregularitat de la finestra de connectivitat al llarg de les simulacions executades, es pot afirmar que la connectivitat dins la xarxa ve condicionada directament pel nombre de nodes que introduïm en aquesta, amb una tendència clarament incremental.

5.1.2 Nombre de paquets a la xarxa

Conèixer el nombre de paquets a la xarxa pot resultar d'importància en cas que es disposi de memòria limitada, o d'un ample de canal finit. En qualsevol dels casos proposats, un excés de duplicats comportaria una afectació negativa. Una de les conseqüències que s'esperen en aplicar els diferents algorismes dissenyats és obtenir una reducció de paquets en la xarxa, minimitzant els problemes esmentats

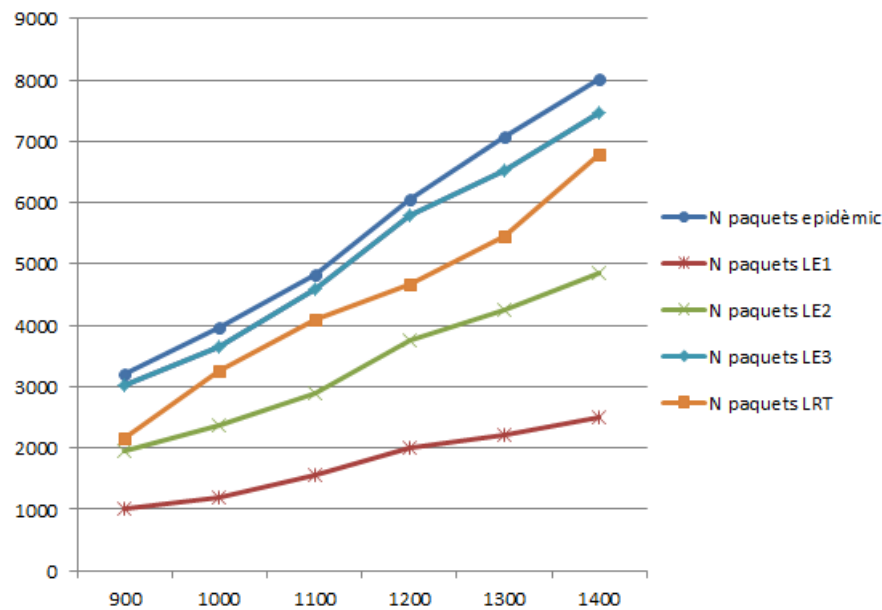


Figura 5.4: Nombre de paquets a la xarxa

en el cas que poguessin existir, al mateix temps que es podria mantenir un nivell de connectivitat acceptable. Ha estat l'objectiu doncs, eliminar aquells duplicats que no presentessin guany de cara a la connectivitat de la xarxa.

En referència a l'encaminament spray and wait, la constant corresponent al màxim de veïns als quals és permès transmetre una còpia ha estat també objecte d'estudi en aquest projecte per tal de trobar la constant més adient per al cas concret que proposa l'escenari descrit. Donat que l'encaminament epidèmic sobre aquest escenari fa una transmissió, en promig, de 3.7 paquets per node s'analitzarà l'impacte de l'aplicació de limited-epidemic sota les constants MAX_NEIGHBOURS 1, 2 i 3. S'anomenarà a cadascun d'aquests subalgorismes limited-epidemic1, 2 i 3 respectivament (LE1, LE2 i LE3).

D'altra banda, l'algorisme que fa ús dels paràmetres del vol per a l'encaminament dels missatges s'indica a partir d'ara com LRT (Less Remaining Time).

La resposta de la simulació pel que fa al nombre de paquets transmesos a la xarxa es pot apreciar a la figura 5.4, on s'aprecia la situació descrita anteriorment, on es pot comprovar com s'ha assolit la limitació desitjada respecte als paquets introduïts a la xarxa. L'encaminament epidèmic representa el pitjor dels casos, en esdevenir l'algorisme que fa un ús dels recursos menys òptim. S'hi pot apreciar, tal i com era

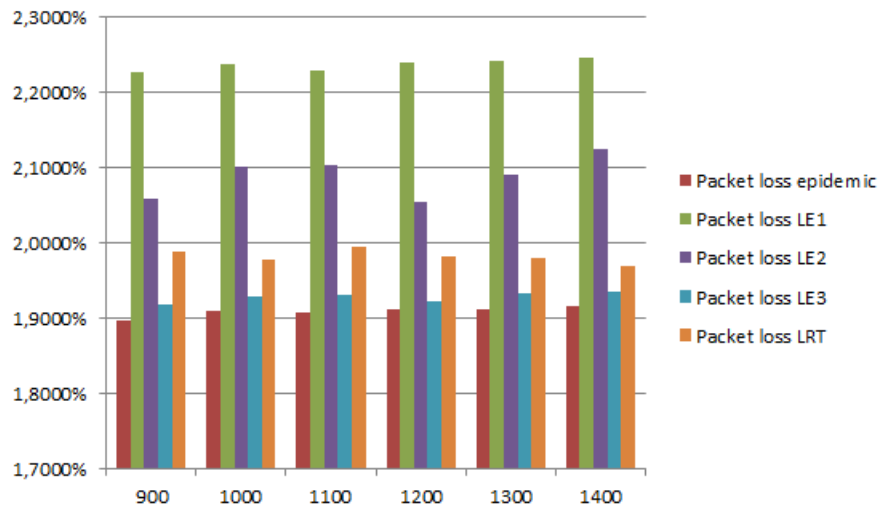


Figura 5.5: Packet loss

d'esperar, com successivament LE3, LE2 i LE1 generen menor càrrega a la xarxa, mentre que LRT estableix un pas mig de missatges entre els valors de LE3 i LE2.

5.1.3 Paquets perduts

En un entorn de xarxa resulta important conèixer el percentatge de paquets perduts. Un valor molt alt d'aquesta mesura pot suposar un entorn amb una probabilitat massa alta de que no es produeixi el lliurament i que, per tant, no hi hagi connectivitat en forma de missatges entre dos extrems. Donat a més l'escenari concret de simulació, on es fa ús de comunicació sense fils, la pèrdua de paquets podria esdevenir un factor determinant en poder veure's afectada per factors ambientals i d'entorn. Ns3 permet simular aquest tipus d'activitats i resulta d'utilitat doncs, establir la diferència a nivell de pèrdua de paquets per a cadascun dels algorismes implementats.

Donada la situació descrita a la figura 5.4, per conèixer la possible afectació real en l'entorn de la xarxa cal estudiar altres mètriques. En aquest punt hi analitzem els paquets perduts i que no han estat lliurats en la destinació. Per a fer això, i donat el desconeixement de la topologia de xarxa i, per tant, del camí que seguirà cadascun dels missatges, s'ha considerat com a pèrdua de paquet aquell que no ha estat capaç de saltar a cap veí.

EL percentatge de paquets perduts per a cadascun dels algorismes es presenta a la



Figura 5.6: Time to deliver

figura 5.5, on s'hi pot veure com en reduir el nombre de missatges que es lliuren a la xarxa encaminats cap a un veí, causen una major probabilitat que aquests es puguin perdre i no puguin ser lliurats a la destinació. Aquesta pèrdua pot ser donada tant a factors ambientals com a sorolls radiofònics o d'altres.

5.2 Model complet

En aquesta darrera secció hi avaluarem els resultats en el temps d'entrega dels missatges obtinguts en valorar el model complet de la simulació. S'ha fet ús del model complet en aquesta darrera simulació degut a la possible disparitat que hagués aparegut en els resultats en fer ús del model incremental. En seleccionar tots els nodes disponibles, el model complet genera sempre els mateixos resultats, mentre que el model parcial realitza una selecció arbitrària de la totalitat dels nodes per tal de seleccionar els nodes que prendran part a la simulació.

Aquest temps de lliurament es pot apreciar a la figura 5.6. En aquesta gràfica s'hi pot apreciar com els temps de lliurament augmenten a mesura que es redueix el nombre de paquets replicats permesos, resulta una conseqüència evident en reduir-

se les probabilitats de lliurar el missatge a un veí que disposi de poques oportunitats de millorar la situació del node custodi en el moment de l'entrega. Aquesta situació no es dona però, en el cas de l'algorisme LRT, on el comportament és similar al de l'encaminament epidèmic en el que per definició es lliuren còpies a tots els veïns. Aquest valor del *time to deliver* similar resulta de l'aplicació de la lògica de l'algorisme, on el lliurament sempre es fa a l'avió a qui li resti menor temps de vol, amb l'avantatge de no saturar xarxa ni recursos (figura 5.4) tot i que implica una lleugera pèrdua de paquets (figura 5.5).

5.3 Conclusions

Un cop obtinguts els resultats hem cregut convenient realitzar una valoració global d'aquests. Donat que l'objectiu principal de la implementació dels diferents algorismes és establir una base comparativa entre ells i discernir quin resulta més adequat per al funcionament de la xarxa DTN que és objecte d'estudi, ens fixarem explícitament en les mètriques mostrades a les figures 5.4, 5.5 i 5.6, amb les quals podem representar el rendiment obtingut a la xarxa.

Considerant que el cas base exposat en aquest projecte resultava el de l'escenari amb encaminament epidèmic, considerem que aquest és el model que pretenem millorar, ja sigui mantenint el rendiment d'aquest com millorant altres comportaments que no siguin desitjables. Entre aquest últims hi podríem trobar el mecanisme d'inundació que, tal i com s'ha vist a la figura 5.4 causa l'aparició d'un nombre més elevat de paquets a la xarxa que no pas els altres algorismes implementats. Cal destacar en aquest punt que en l'encaminament epidèmic no discerneix en cap moment a qui realitza el pas del missatge i per tant no ens trobem davant d'un mecanisme eficient com podria ser en el cas de l'algorisme LRT, que implementa el lliurament a partir d'una decisió fonamentada com és el temps de vol restant. Apreciem a més com aquest fet provoca una reducció important dels paquets enviats cosa que, en un entorn real, podria beneficiar a la gestió i ús dels recursos com la memòria disponible a cadascun dels nodes.

No obstant això, l'encaminament epidèmic si ha resultat d'utilitat en el moment de minimitzar la pèrdua de paquets (figura 5.5). En la gràfica corresponent hi hem vist

com, en reduir la replicació de paquets, aquests han patit d'una major probabilitat de que es perdessin degut a situacions de xarxa, com podrien ser el soroll o una desconnexió sobtada. Tot i que no apareixen unes pèrdues massives, hem considerat com a lliandar tolerable un 2% de pèrdua de paquets sota la suposició de les possibles aplicacions que poguessin fer ús d'aquests sistemes d'encaminament, entre les quals s'hi podrien incloure mecanismes de seguiment del trànsit aeri. En aquest cas, no seria desitjable en cap cas la desaparició total d'un paquet en xarxa, per la qual cosa els algorismes LE1 i LE2 donarien una garantia massa baixa de que això no succeís en realitzar poques replicacions de cada missatge. Considerem doncs la resta d'algorismes adequats pel que fa a la pèrdua de paquets.

Per últim, i en relació a la figura 5.6, hi podem apreciar com els temps d'enviament resulten molt elevats, cal tenir en compte però, que estem tractant un escenari on els avions passen nombroses hores desconnectats de la xarxa de terra, la qual és la que s'ha tingut en compte per a la valoració d'aquesta mètrica. Donat que en l'algorisme LRT el lliurament s'implementa a partir de paràmetres reals de vol, hem aconseguit reduir aquest temps i establir-lo en un valor similar al de l'encaminament epidèmic, on la replicació es realitza a tots els nodes amb els quals es contacta i, per tant, també als que tenen un temps de vol restant menor al del node custodi. Les lleugeres diferències obtingudes son atribuïbles a les diferències observades en la pèrdua de paquets, ja que en cas de pèrdua no es considera el temps de lliurament.

Donats els resultats observats doncs, on l'algorisme LRT es comporta com a un epidèmic amb la particularitat que la replicació només esdevé quan el temps de vol és menor al del lliurament anterior, o el propi, i per tant s'aconsegueix reduir el temps d'entrega. Considerem aquest algorisme adient per a la xarxa presentada i el que millor es comporta per a l'equilibri de les mètriques vistes.

Capítol 6

Conclusions

6.1 Objectius assolits

A l'inici d'aquest projecte vam plantejar una sèrie d'objectius, alguns dels quals han anat evolucionant i s'han vist modificats al llarg de la implementació del projecte. Un cop realitzades les tasques presentades en aquest document creiem convenient la revisió dels punts plantejats inicialment i com aquests es veuen justificats en la realització d'aquest projecte.

Aprofundir en el coneixement i funcionament dels mecanismes lligats a les xarxes DTN, específicament els algorismes d'encaminament d'aquestes.

El coneixement sobre el funcionament de les xarxes que s'han tractat en aquest projecte resulta un fonament teòric bàsic d'aquest. Al capítol 2 s'hi han estudiat tots els mecanismes proposats, detallant específicament els algorismes d'encaminament, que han conformat la part principal d'aquest projecte.

Conèixer i dominar l'ús del simulador de xarxes ns3.

Com a eina principal d'aquest projecte, el simulador ns3 ha estat presentat al capítol 3 on, a més, hi hem repassat tots els instruments dels quals s'ha fet ús al llarg de la realització del projecte. La base del funcionament teòric del simulador va ser proporcionada pel tutor tècnic d'aquest projecte, Rubén Martínez Vidal, el qual també és responsable del funcionament de la simulació base a partir de la qual

s'ha treballat.

Implementar els diferents algorismes per a ésser aplicats a la xarxa en forma d'aplicacions.

Al capítol 4 hi hem detallat les aplicacions creades, la raó de ser del seu disseny així com la base del seu funcionament en l'entorn de simulació. Aquest objectiu ha esdevingut, però, un dels pilars fonamentals del projecte, en resultar en la implementació dels algorismes dins l'entorn de simulació per a la seva posterior valoració. Per aquest motiu una correcta tasca en aquest punt ha resultat vital de cara a obtenir uns resultats finals vàlids.

Analitzar l'impacte de cadascun dels algorismes dissenyats.

Un cop implementats els algorismes, i obtingudes les diferents mètriques en executar les diferents simulacions, la valoració pertinent del rendiment de la xarxa s'ha vist detallada al capítol 5 on s'hi han presentat un seguit de gràfiques representant el comportament de la xarxa en base a diversos paràmetres establerts i que s'han definit en aquest mateix capítol.

Extreure conclusions sobre els resultats obtinguts per tal de discernir l'algorisme que tindria l'impacte positiu més gran sobre la xarxa.

Per últim, la valoració dels resultats obtinguts en la xarxa han estat detallats a la secció 5.3 on, a mode de conclusió, s'hi resumeixen totes les mètriques estudiades i s'hi valora l'algorisme Less Remaining Time com al més adient per al funcionament de la xarxa simulada.

Considerem doncs, assolits els objectius que varen ser plantejats a l'inici d'aquest projecte i que apareixen presentats en aquesta memòria.

6.2 Planificació final

A la secció 1.3 s'hi va detallar la planificació proposta per al seguiment del projecte a l'inici d'aquest, no obstant, algunes dificultats trobades, així com tasques que es van completar abans del temps planificat inicialment, han suposat modificacions

sobre la planificació proposada.

Les fases que més modificacions han patit però, han estat la d'introducció a l'entorn i la pròpia implementació. Tot i això s'ha mantingut la durada del projecte sota els marges establerts amb l'objectiu també de complir amb els terminis de lliurament establerts.

6.3 Problemes i inconvenients trobats

Al llarg del desenvolupament del present projecte s'han trobat una sèrie de problemes i inconvenients que, sortosament, no han impedit la completa realització del projecte ni la modificació dels termes generals de la realització d'aquest. Entre aquests inconvenients hi destaquen els següents:

- Desconeixement de l'entorn de simulació. Aquesta circumstància va provocar un inici lent del desenvolupament del projecte, en haver de tractar amb un entorn nou i desconegut. Especialment, la programació en un llenguatge amb el que no s'havia tractat anteriorment, C++, va resultar en constants dubtes i vacil·lacions que van resultar en consultes habituals, tant als tutors com a Internet i que van provocar l'alentiment en certs punts del desenvolupament.
- Subestimació de la duració de les simulacions. Fruit també del desconeixement de l'entorn van sorgir situacions inesperades en referència a la planificació de les simulacions, que sovint es van allargar diverses hores i, pel cas del model complet, dies. Aquesta situació va forçar a un seguiment més rígid de les simulacions a executar de manera que es permetés un millor aprofitament del temps.
- Fallades hardware. Durant les últimes simulacions planificades dins l'entorn d'aquest projecte van succeir-se alguns talls en el subministrament elèctric que van provocar l'apagada de l'equip on s'executaven les simulacions, que van haver de ser llançades de nou, provocant retards en la generació i presentació de resultats.

6.4 Valoració personal

Aquest projecte ha resultat intel·lectualment estimulante i engrescador, especialment per la possibilitat de poder analitzar l'aplicació d'un paradigma de xarxa modern en un entorn real com resulta l'aeronàutic. Les fites que s'han anat assolint al llarg del projecte han esdevingut interessants i han permès la formació de conceptes sobre un entorn d'estudi pràcticament nou, situació que resulta de gran valor educacional i acadèmic.

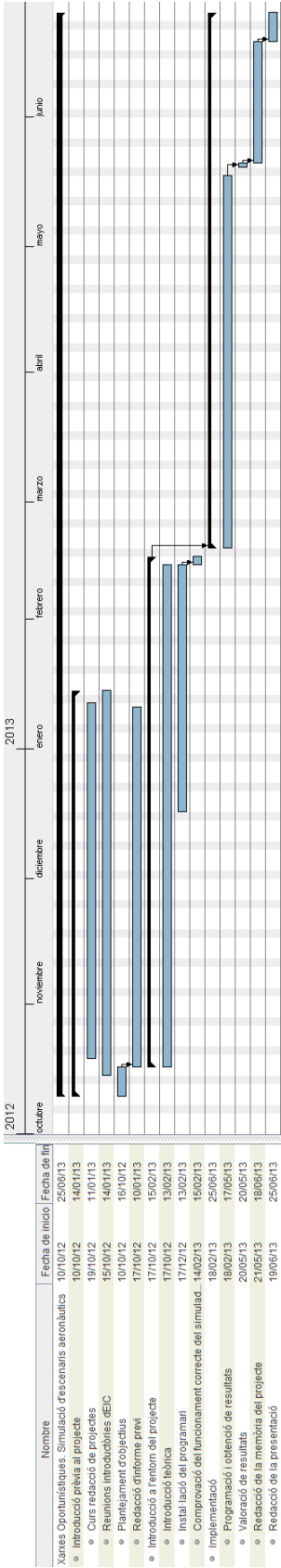


Figura 6.1: Planificació final

Bibliografia

- [1] Air Traffic management, febrer 2013.
<http://www.aeronav.spb.ru/atcspb/documents/euroconrol/4444_14.pdf>
- [2] Delay-Tolerant Networking Architecture, The IETF Trust Group, 2007
<<http://tools.ietf.org/html/rfc4838>>
- [3] InterPlanetary Internet Project, Internet Society IPN Special Interest Group.
<<http://www.ipnsig.org/>>
- [4] Aircraft Communications, febrer 2013
<<http://www.aviationpros.com/article/10381753/aircraft-communications/>>
- [5] Delay-Tolerant Networking research group.
<<http://www.dtnrg.org/>>
- [6] Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax, The Internet Society, 2005.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3986/>>
- [7] Manual ATN, febrer 2013
<http://legacy.icao.int/anb/panels/acp/repository/Doc_9880-AN466_part_IIB_atsmhs%20December%202007.doc>
- [8] ACARS System
<http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_Communications_Addressing_and_Reporting_System#Intro>
- [9] Aircraft communication and navigation systems, febrer 2013.
<<http://www.key2study.com/66web/acnsprelims.pdf>>

- [10] Air Traffic Control, febrer 2013.
<<http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/ATC.pdf/>>
- [11] Routing Strategies for Delay-Tolerant Networks, març 2013
<<http://chants.cs.ucsb.edu/2005/papers/paper-SpyPso.pdf/>>
- [12] Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks, març 2013
<<http://chants.cs.ucsb.edu/2005/papers/paper-SpyPso.pdf/>>
- [13] Network Simulator 3, març 2013
<<http://www.nsnam.org/>>
- [14] Characterization of a Transoceanic Aircraft Delay Tolerant Network, Rubén Martínez-Vidal, Ramón Martí, Joan Borrell
- [15] Dia, maig 2013
<<http://projects.gnome.org/dia/>>
- [16] GanttProject, gener 2013
<<http://www.ganttproject.biz/>>
- [17] Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks
<<http://tools.ietf.org/html/rfc6693/>>
- [18] Performance Analysis of Routing Protocols in Delay/Disruption Tolerant Mobile Ad Hoc Networks , maig 2013
><http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Cambridge/NEHIPISIC/NEHIPISIC-69.pdf/>>

Firmat: Adrià Berbel Alonso
Bellaterra, Juny de 2013